

## **ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ (ИМС)**

ИМС – устройство с высокой плотностью упаковки электрически связанных элементов, выполняющее определённую функцию обработки и преобразования электрических сигналов и рассматриваемое как единое целое.

Уровень развития ИМС определяется с помощью показателей:

- Уровень интеграции  $N$  – суммарное число элементов и компонентов, входящих в ИМС;
- Степень интеграции  $K$  – характеризует степень сложности ИМС.

$$K = \lg N$$

В СССР применялись следующие названия микросхем в зависимости от степени интеграции (указано количество элементов для цифровых схем):

- малая интегральная схема (МИС) — до 100 элементов в кристалле,
- средняя интегральная схема (СИС) — до 1000 элементов в кристалле,
- большая интегральная схема (БИС) — до 10000 элементов в кристалле,
- сверхбольшая интегральная схема (СБИС) — до 1 миллиона элементов в кристалле,
- ультрабольшая интегральная схема (УБИС) — до 1 миллиарда элементов в кристалле,
- гигабольшая интегральная схема (ГБИС) — более 1 миллиарда элементов в кристалле.

В настоящее время название УБИС и ГБИС практически не используется (например, последние версии процессоров Itanium, 9300 Tukwila, содержат два миллиарда транзисторов), и все схемы с числом элементов, превышающим 10 000, относят к классу СБИС, считая УБИС его подклассом.

ИМС бывают гибридными и полупроводниковыми.

## **ГИБРИДНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ (ГИМС)**

ГИМС – это микросхема, содержащая диэлектрическое основание (подложку), все пассивные элементы на поверхности которой выполняются в виде однослойных или многослойных плёночных структур, а полупроводниковые приборы размещены на подложке в виде дискретных навесных деталей.

ГИМС основаны на технологии тонких (до 1 мкм) и сравнительно толстых (10 – 50 мкм) пленок. ГИМС по сравнению с полупроводниковыми имеют ряд преимуществ: обеспечивают широкий диапазон номиналов, меньшие пределы допусков и лучшие электрические характеристики пассивных элементов (более высокая добротность, температурная и временная стабильность, меньшее число и менее заметное влияние паразитных элементов); позволяют использовать любые дискретные компоненты, в том числе полупроводниковые БИС и СБИС. В качестве навесных компонентов в ГИМС применяют миниатюрные дискретные резисторы, конденсаторы, индуктивные катушки, дроссели, трансформаторы.

## Подложки ГИМС

Подложки ГИС являются диэлектрическим и механическим основанием для пленочных и навесных элементов и служат теплоотводом. Материал подложки должен обладать следующими свойствами и характеристиками: 1) высоким сопротивлением изоляции и электрической прочностью; 2) большим коэффициентом теплопроводности для эффективной передачи теплоты от тепловыделяющих элементов (резисторов, диодов, транзисторов) к корпусу микросхемы; 3) достаточной механической прочностью; 4) устойчивостью к воздействию химических реактивов в процессе подготовки поверхности подложки перед нанесением пленок; 5) стойкостью к воздействию нагрева в процессе нанесения тонких пленок и термообработки толстых пленок; 6) способностью к механической обработке (резке и т.д.).

Для маломощных ГИМС применяют бесщелочные боросиликатные стекла и ситаллы. Для мощных ГИМС применяют керамику «поликор», а для особо мощных ГИС — бериллиевую керамику, имеющую очень высокую теплопроводность.

## Элементы ГИМС

**Пленочные резисторы.** Пленочный резистор конструктивно состоит из резистивной пленки определенной конфигурации и контактных площадок. В качестве резистивных материалов тонкопленочных резисторов используют чистые металлы и сплавы с высоким электрическим сопротивлением, а также специальные материалы — керметы, которые состоят из частиц металла и диэлектрика (например, Cr и SiO). Широко распространены пленки хрома и тантала.

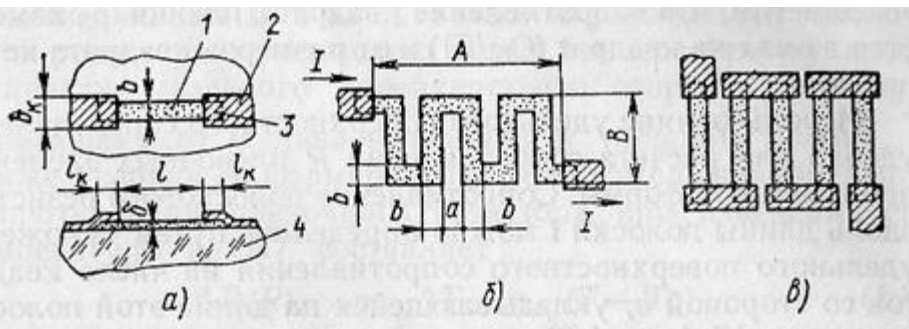


Рисунок 1 – Конструкция пленочных резисторов: а — полоскового; б — типа «меандр»; в — составного.

Пленочный резистор располагают на поверхности диэлектрической подложки; конструктивно он состоит из резистивной пленки определенной конфигурации и контактных площадок. На рисунке 1 показаны наиболее распространенные конфигурации таких резисторов.

Пленочные резисторы должны обладать высокой стабильностью сопротивления во времени и интервале температур, низким уровнем шумов, малыми значениями паразитных параметров, требуемой мощностью рассеяния и минимальным значением занимаемой площади.

**Пленочные конденсаторы.** Конструктивно конденсаторы представляют собой трехслойную структуру: металл – диэлектрик – металл и состоят из нижней и верхней обкладок, разделенных слоем диэлектрического материала.

К конструкции конденсаторов предъявляются следующие конструктивно-технологические требования: минимальные габариты; воспроизводимость характеристик в процессе производства; совместимость технических процессов изготовления конденсаторов с технологическими процессами изготовления других элементов ГИС.

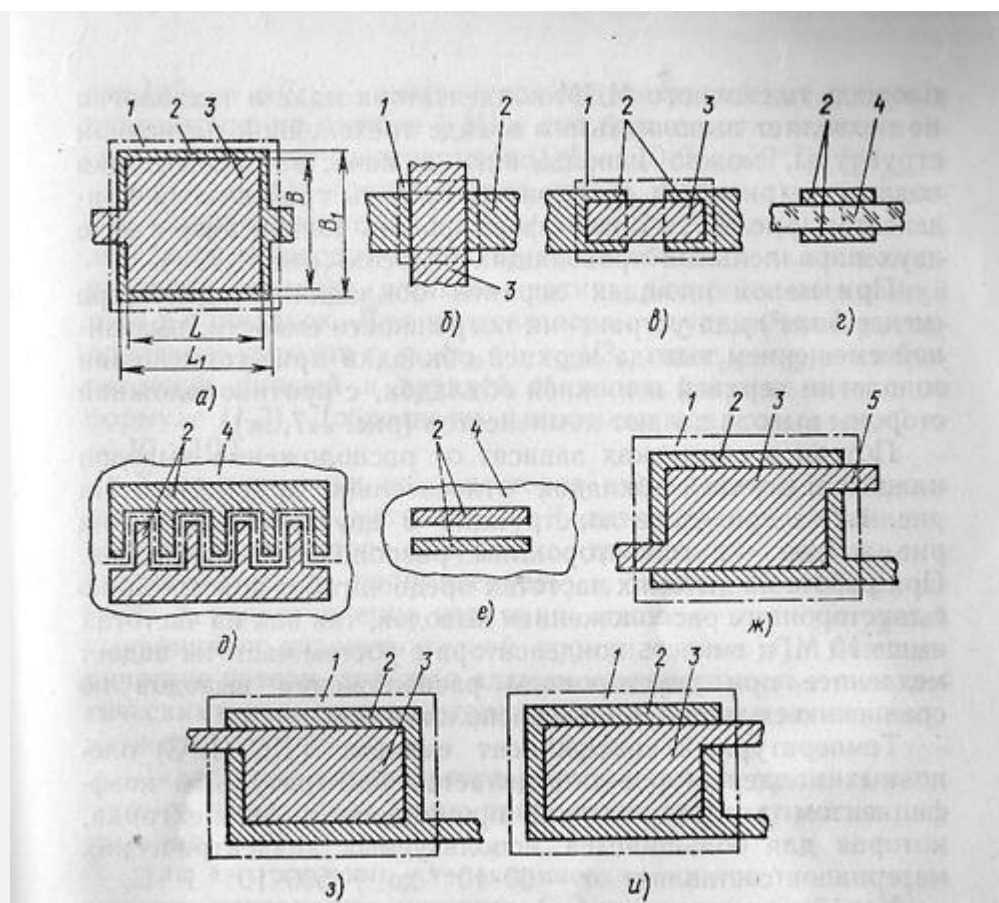


Рисунок 2 – Конструкции тонкопленочных конденсаторов: а-в - плоский с тонкопленочным диэлектриком; г - подложка в качестве диэлектрика конденсатора; д - гребенчатый конденсатор; е — полосковый конденсатор; ж - плоский с компенсатором; з, и - плоские с двусторонним и односторонним расположением выводов; 1 - диэлектрик; 2,3 - обкладки конденсаторов; 4 - подложка ГИС; 5 - компенсатор.

Характеристики конденсаторов определяются свойствами применяемых материалов. К диэлектрику конденсаторов предъявляются следующие требования: высокие — диэлектрическая проницаемость, электрическая прочность и сопротивление изоляции; хорошая адгезия, совместимость с технологическими процессами изготовления других элементов микросхем.

Для изготовления диэлектрических тонких пленок применяют монооксиды кремния  $\text{SiO}$  и германия  $\text{GeO}$ , оксиды алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , тантала  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , титана  $\text{TiO}_2$  и редкоземельных металлов.

Материал обкладок конденсатора должен удовлетворять следующим требованиям: иметь низкое электрическое сопротивление обкладок, хорошую адгезию, обладать низкой миграционной подвижностью атомов, высокой коррозионной стойкостью.

Для изготовления обкладок тонкопленочных конденсаторов применяют алюминий с подслоем титана или ванадия. Обкладки конденсаторов изготавливают из паст с высоким содержанием (более 70%) таких металлов, как палладий, серебро, реже золото и др.

**Пленочные индуктивные элементы.** Толщина пленочной спирали зависит от рабочей частоты и определяется глубиной проникновения электромагнитной волны в материал пленочного проводника. Для изготовления пленочных спиралей применяют материалы с высокой электропроводностью.

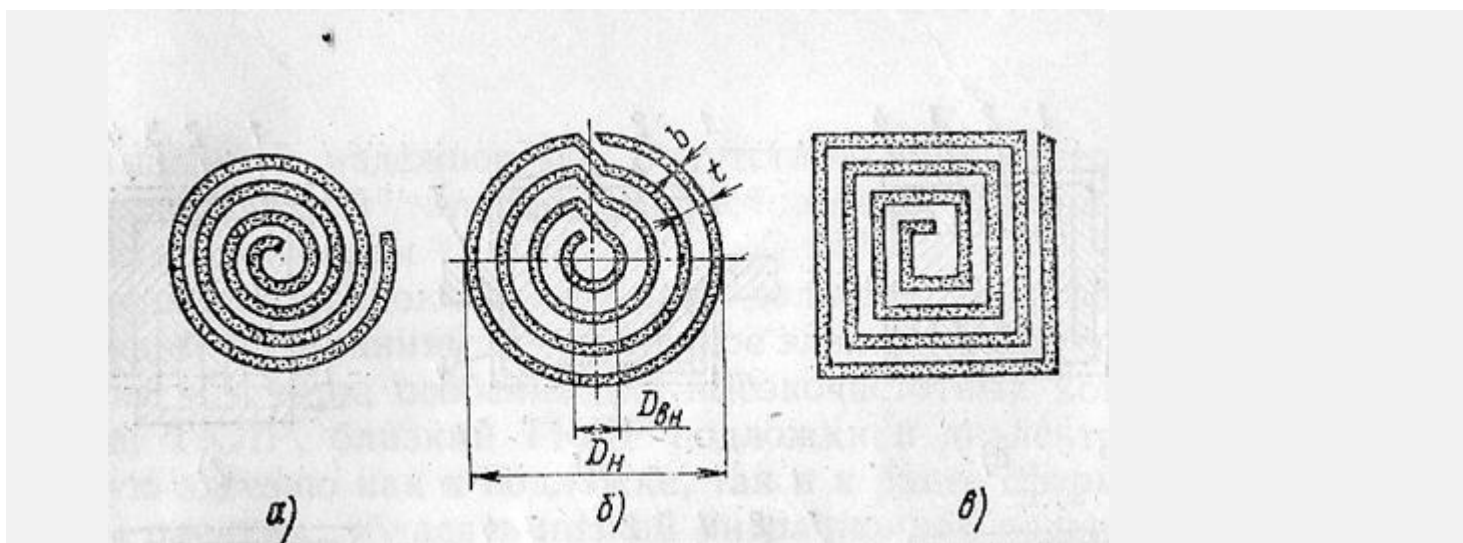


Рисунок 3 – Конструкции пленочных индуктивных спиралей круглой (а, б) и квадратной (в) формы

**Элементы коммутации.** Такие элементы (проводники и контактные площадки) служат для электрического соединения компонентов и элементов ГИС между собой, а также для присоединения к выводам корпуса.

К материалам проводников предъявляются следующие требования: высокая электропроводность; хорошая адгезия к подложке; высокая коррозионная стойкость; обеспечение низкого и воспроизводимого переходного сопротивления контактов; возможность пайки или сварки выводов навесных компонентов; совместимость технологии нанесения пленочных коммутационных проводников и контактных площадок

с технологией изготовления других элементов микросхем. Самым распространенным материалом в ГИМС повышенной надежности является золото с подслоем хрома, нихрома или титана. Подслой обеспечивает высокую адгезию, а золото – нужную электропроводность, высокую коррозионную стойкость, возможность пайки и сварки.

В аппаратуре с менее жесткими требованиями к надежности в качестве проводников используют пленки меди или алюминия с подслоем хрома, нихрома, ванадия или титана.

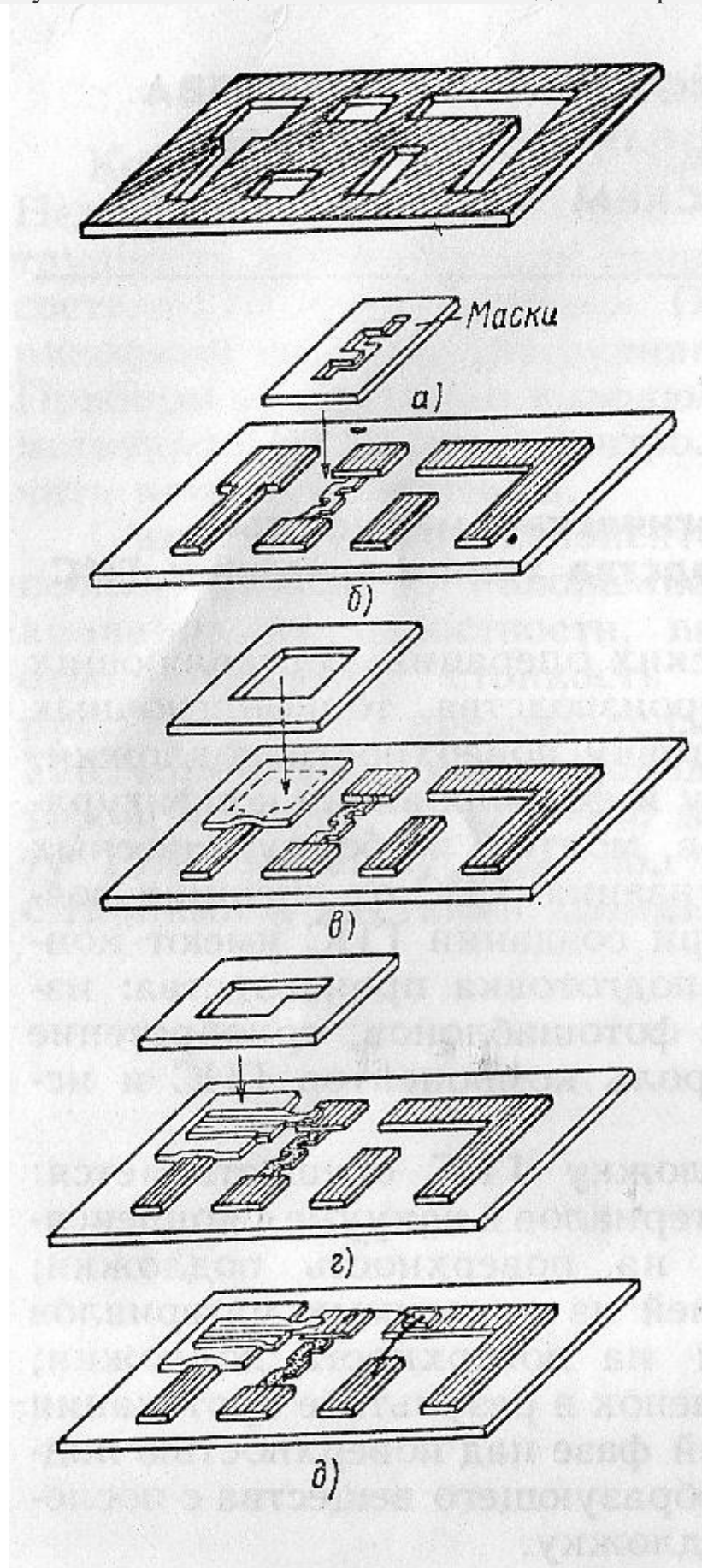


Рисунок 4 – Технологический процесс изготовления ГИМС методом вакуумного напыления пленок через съемные маски: а — маски для напыления резистора и контактных площадок; б — поочередное напыление резистора, проводников и нижней обкладки конденсатора; в, г — напыление диэлектрика и верхней обкладки конденсатора; д — монтаж навесного компонента и присоединение проволочных выводов к пленочным проводникам

## Технология производства ГИМС

Самым простым методом получения заданной конфигурации пленочных элементов является масочный метод, при котором нанесение каждого слоя тонкопленочной структуры осуществляется через специальный трафарет. Пленка из напыляемого материала осаждается на подложке в местах, соответствующих рисунку окон в маске. Нанесение пленок через съемные маски осуществляют термическим испарением в вакууме либо ионно-плазменным распылением. Масочный метод является самым простым, технологичным и высокопроизводительным.

**Метод фотолитографии.** Этот метод позволяет получить конфигурацию элементов любой сложности и имеет большую точность по сравнению с масочным, однако он более сложен, так как включает ряд прецизионных операций.

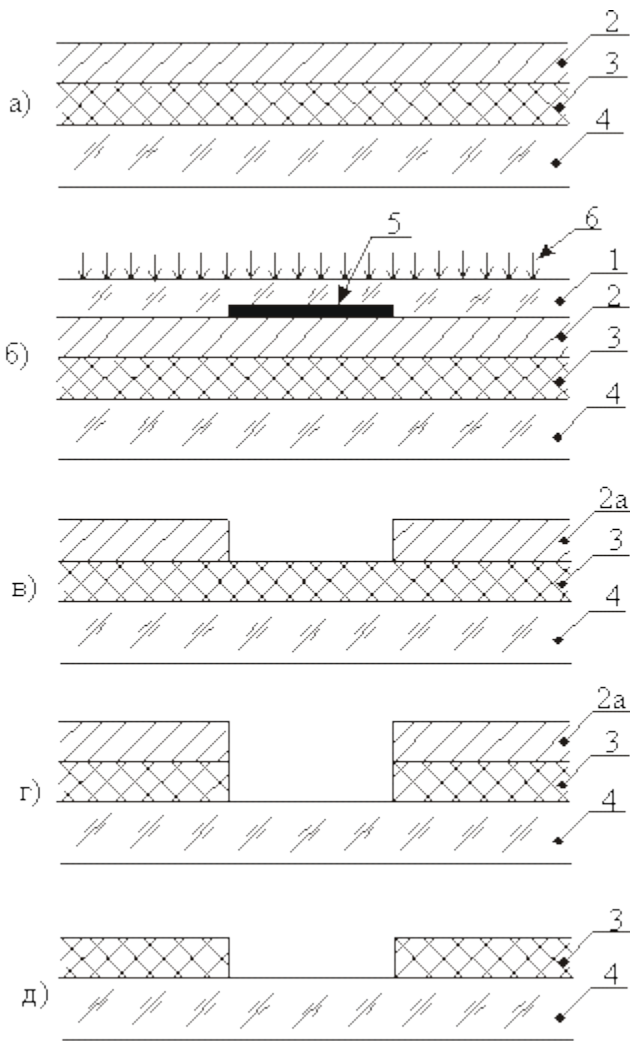
## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ (ПИМС)

**ПИМС** – это ИМС, в которой все активные и пассивные элементы и их соединения выполнены в виде сочетания неразъемно связанных р-п переходов в одном полупроводниковом кристалле.

### Фотолитография

Фотолитография является основным технологическим процессом в микроэлектронике при получении линий шириной до 1 мкм и его долей. Сначала изготавливают оригинал топологии микросхемы в сильноувеличенном размере (до 500 раз). Затем делают фотографию с уменьшением в 100 раз, затем в 10 раз и т.д. пока окончательное изображение на пластине не будет точно соответствовать требуемой схеме. Полученная фотопластина используется в качестве маски для передачи рисунка на поверхность подложки. Сначала на окисный слой наносят фоторезист (2), затем к фоторезисту прикладывают стеклянный фотошаблон (1) с рисунком соответствующим той части окисла, которая должна быть удалена (5). Экспонируют фотошаблон в ультрафиолетовых лучах (6). Проявляют. В процессе проявления не экспонированные участки фоторезиста (2) растворяются.

Окисный слой в окне стравливают кислотным раствором и удаляют оставшийся слой фоторезиста – такой метод называется методом контактной печати. Кроме того используют проекционную печать, когда между фотошаблоном и подложкой располагают оптические линзы.



1 – стеклянный фотошаблон

2 – фоторезист

3 – SiO<sub>2</sub> (окись кремния)

4 – кремниевая подложка

5 – светонепроницаемый рисунок на фотоземле

6 – ультрафиолетовое излучение

Этапы:

а) Первичное покрытие

б) Контактная печать

в) После проявления

г) После травления

д) После удаления фоторезиста

## Планарно-эпитаксиальная технология изготовления ПИМС

На подложке р-типа формируется эпитаксиальный слой п-типа (а). Затем проводится термическое окисление (б), и методом фотолитографии формируются окна под разделительную диффузию, т.е. маска из слоя SiO<sub>2</sub> остается на тех местах, где будут изготавливаться биполярные транзисторы и другие элементы схемы (в). Следующим этапом проводится разделительная диффузия акцепторной примесью (в) так, чтобы атомы примеси достигли подложки под эпитаксиальным слоем и в результате получается, что элементы схемы будут отделены друг от друга полупроводником р-типа. Проводится второе термическое окисление, вторая фотолитография и вторая диффузия акцепторной примесью с тем, чтобы сформировать базовый слой транзистора (г). Затем проводятся ещё одно термическое окисление, фотолитография, при которой вскрываются окна под эмиттерную область и вывод коллектора, и проводится последняя диффузия донорной примесью (д). В этих областях создается максимальная концентрация примеси. Глубина p<sup>+</sup>-слоев составляет примерно 2 мкм. Максимальная концентрация примеси в месте вывода коллектора исключает появление выпрямляющего

контакта металл-полупроводник (диод Шоттки). После четвертого заключительного термического окисления и ещё одной фотолитографии вскрываются окна для межэлементных соединений металлической пленкой (е). В результате термического напыления получается сплошная пленка алюминия (ж). На заключительном этапе проводится последняя фотолитография, при которой из алюминиевой пленки формируются межэлементные соединения (з).

